

双星驱动的极超新星模型中的伽马暴和超新星关联 新闻稿

长时伽马射线暴（GRBs）在仅仅几秒的时间内能释放出巨大的伽马射线能量，其亮度与整个可观测宇宙的恒星亮度相当。这使得GRBs成为研究星系和恒星起源的重要工具。令人惊讶的是，许多GRBs会与Ic型超新星一起发生，这种关联被称为GRB-SN关联。对于这种最能够限制GRB理论模型的观测特征，国际相对论天体物理中心及其网络（ICRA-ICRANet）在《天体物理学杂志》上发表了一篇文章（ApJ, 955, 93 (2023)）。

Ic型超新星（SNe Ic）是因恒星的铁核坍缩而发生的爆炸，这种坍缩最终导致中子星的形成。爆炸同时会将其外层抛出，因为来自核塌缩的能量超过了它们的结合能。另一方面，GRBs主要与形成黑洞的事件相关。这种似乎矛盾的现象引发了ICRA-ICRANet的深入探索，他们认为双星在这两种现象中起到了关键作用，并通过观测事实构建了理论。文章列举了大多数GRB-SN应发生在双星中的理由：

1. GRB-SN与大质量恒星爆炸有关，而大部分大质量恒星都存在于双星系统中。
2. 与GRBs相关的Ic型超新星通常缺少氢和氦，这可以通过双星间的相互作用来解释。
3. 恒星演化预测25个太阳质量以上的零年龄主序（ZAMS）恒星能直接形成黑洞，而观测到的Ic超新星的前身星的质量小于18个太阳质量。

该论文对24个GRB-SN关联事件中超新星（SN）在光学波长上的辐射进行了分析。研究认为，这些超新星在光学波长上的辐射能量主要由抛出物中的镍衰变为钴所提供。研究还表明，各个源中超新星的峰值亮度和发生时间具有相似性，其差异不超过一个数量级。与此形成鲜明对比的是，与之相关的长时伽马射线暴（GRB）的辐射能量相差近七个数量级！这一结果再次支持：单一天体难以解释这两种时间上同时但能量差异巨大的事件。

该论文主要关注双星驱动的极超新星（BdHN）模型，并深入研究了其内部的物理过程。在这个BdHN模型中，我们看到GRB-SN事件是在一个双星系统内发生的，这个系统由一个碳氧（CO）恒星和一个中子星（NS）组成。当CO恒星的核心发生塌缩时，它会产生一个新的中子星（vNS）和一个超新星（SN）。这个新形成的超新星是引发我们观测到的GRB事件的主要原因。更进一步，模型为我们提供了解释GRBs多样性的机制。BdHNe I：这是最极端的类型，其辐射能量位于 $10^{52} - 10^{54}$ erg。这些系统的轨道周期大约是5分钟。在这种情况下，从SN中喷射出的物质很容易被它的NS伴侣吸积。这种吸积导致了一个旋转的黑洞（BH）的形成。BdHNe II：这些源的轨道周期在20–40分钟之间，其辐射能量 $10^{50} - 10^{52}$ erg范围内，吸积不多，所以NS依然保持稳定，不会塌缩为黑洞。BdHN III：这种类型的轨道周期长达几小时，因此从超新星中喷射出的物质几乎不被

吸积。这些GRBs的辐射能量低于 10^{50} erg。这篇论文通过模型化的方式详细解释了这些物理过程，为我们提供了GRBs现象背后的深入理解。

这篇新的论文主要运用了前沿的多信使物理与天体物理学手段，涵盖了从中微子、引力波到各种范围的电磁辐射，直至超高能宇宙射线（UHECRs）。其重点是BdHN模型，该模型描绘了七个不同的阶段，每个阶段都通过实时的观测数据来进行鉴别，旨在探索新的极端相对论状态。特别的，论文深入探讨了：第一个阶段是10个太阳质量的CO核心的塌缩所触发的早期超新星爆炸（SN-rise）。第二个阶段包含超新星抛射物被新生的中子星（vNS）吸积的过程（vNS-rise）。由于伴侣中子星上吸积超新星抛射物，伴侣中子星质量超过临界质量坍塌成黑洞。GRB的能量来源于Kerr黑洞，这个黑洞产生超过临界值的电磁场，电磁场产生了接近光速膨胀的正负电子对等离子体，其向外膨胀时从周围环境中扫入重子。当等离子体达到透明度时，就出现了第三个阶段，即UPE（超相对论性即时辐射）。与黑洞旋转轴对齐的次临界状态下的电磁场中相应的过程导致了第四个阶段，即高能GeV光子的辐射。第五个阶段涉及vNS转动能支持下的激波通过同步辐射机制产生X射线、光学和射电电波。第六和第七阶段包含伽马射线和X射线耀发。最后是第七个阶段，即超新星抛出物衰变放出的光学放射。通过与洛斯阿拉莫斯国家实验室（见图1）的合作进行的平滑粒子流体动力学模拟（SPH）给出了具体示例。论文比较和对照了选定的BdHNe类型的动力学以及24个SNe的峰值亮度和时间（见图2）。对两种BdHNe I的案例（GRB 180720B和GRB 190114C，见图3）进行了详细分析。对于BdHNe II，论文描述了GRB 190829A，对于BdHNe III，描述了GRB171205A。

GRB每个阶段揭示出来的细节预示着一个新时代：使用地球上最强的高能源，如由DESY在汉堡运营的欧洲硬X射线自由电子激光（XFEL），以及用于TeV辐射的欧洲核子研究组织（CERN）在日内瓦的加速器，对GRB物理进行诊断。

更多信息：

联系方式：

Remo Ruffini 教授

ICRANet 主任

电话：(+39) 085 2305 4201，手机：(+39) 339 475 2566

电子邮件：ruffini@icra.it

引文：

GRB-SN Association within the Binary-Driven Hypernova Model

Aimuratov, Y.; Becerra, L. M.; Bianco, C. L.; Cherubini, C.; Della Valle, M.; Filippi, S.; Li, Liang; Moradi, R.; Rastegarnia, F.; Rueda, J. A.; Ruffini, R.; Sahakyan, N.; Wang, Y.; Zhang, S. R.;

ApJ, 955 (2023) 93;

DOI: 10.3847/1538-4357/ace721

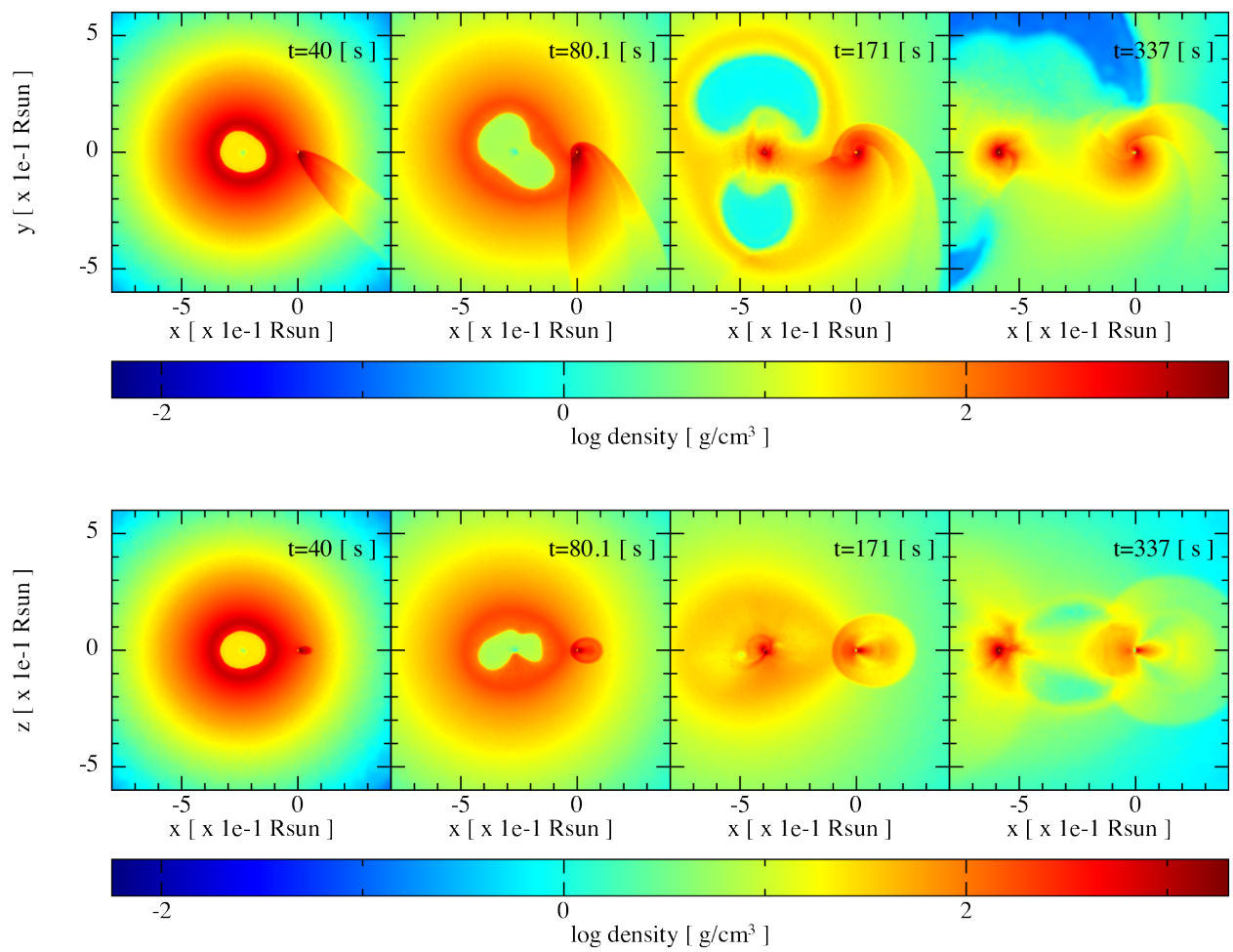


图 1. 一型双星驱动极超新星 (*BdHN I*) 的平滑粒子流体动力学模拟。

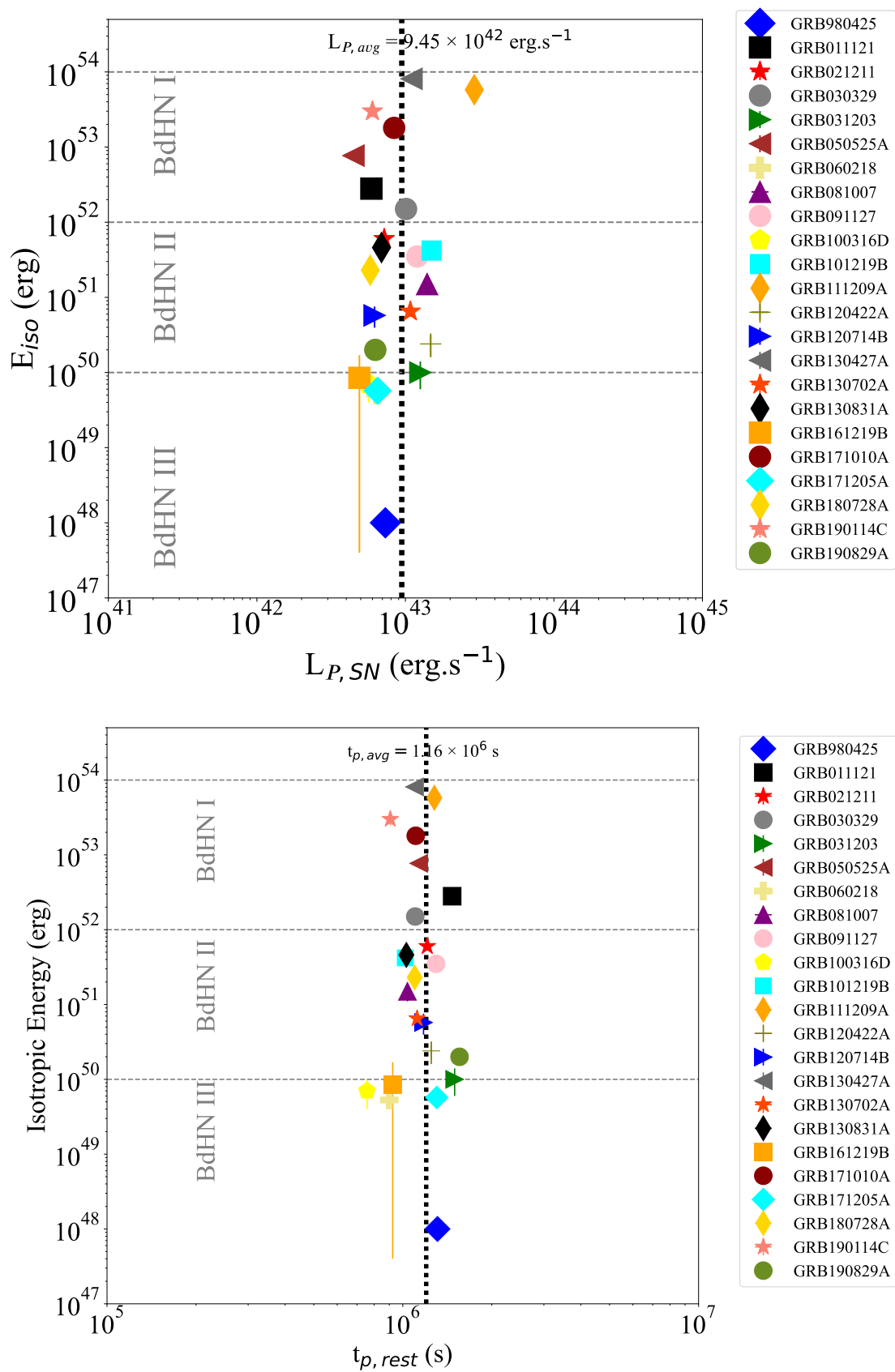


图 2. GRB的等效各向同性能量与相关SN的全光度光曲线的峰值亮度和时间的对比。

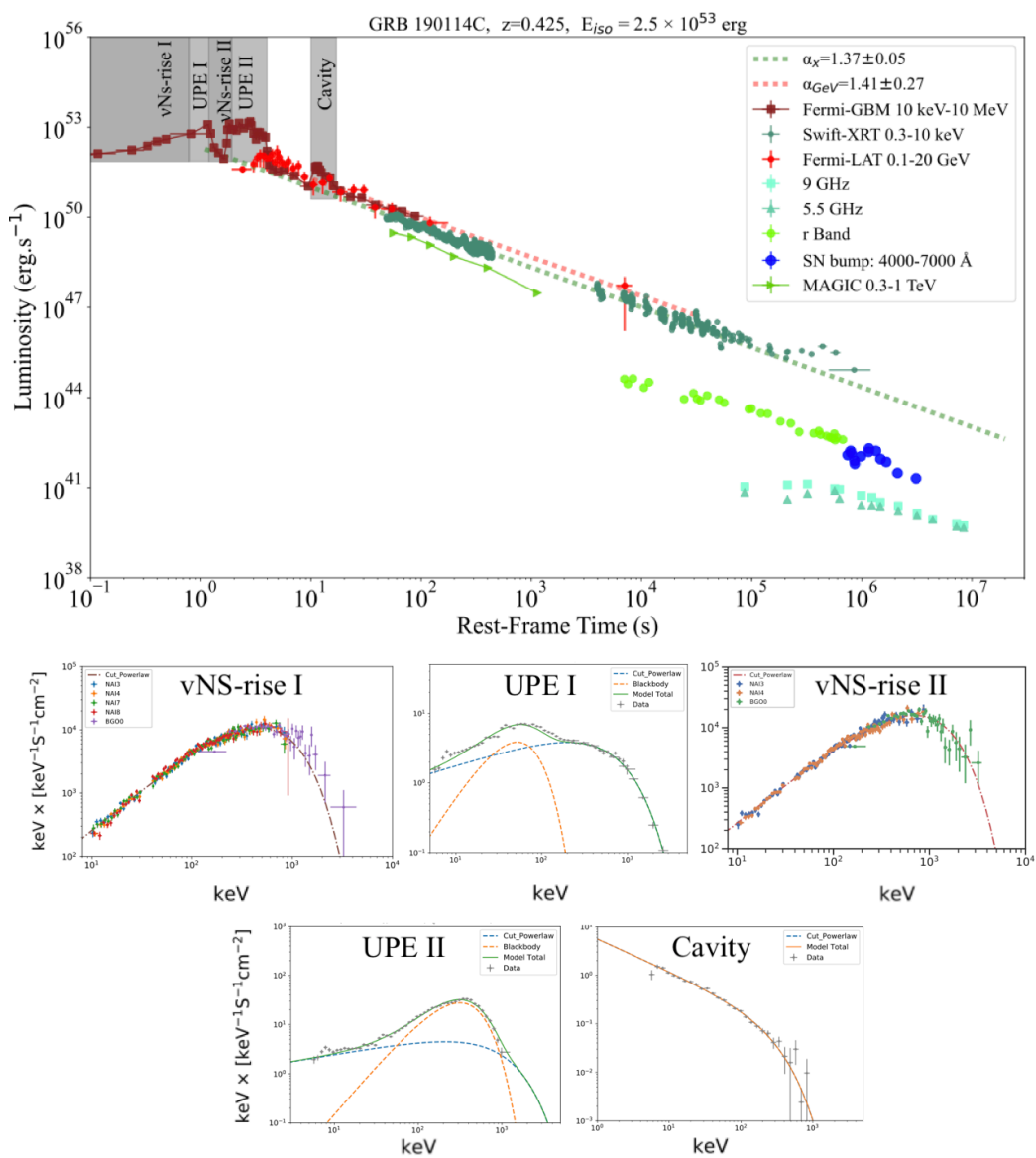


图 3. GRB 190114C 案例研究。